Aus der Abteilung für Zahnerhaltung
(Abteilungsvorsteher: Professor Dr. Adolf Kröncke)
des Zahnärztlichen Instituts der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Dr. Eugen Fröhlich

Über die Härte des Dentins von Rattenmolaren unter den Bedingungen einer extremen Kalkmangelkost

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Sawet Thasanabanchong
aus Samudhasongkram, Thailand

1963

7637

Aus der Abteilung für Zahnerhaltung
(Abteilungsvorsteher: Professor Dr. Adolf Kröncke)
des Zahnärztlichen Instituts der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Dr. Eugen Fröhlich

Über die Härte des Dentins von Rattenmolaren unter den Bedingungen einer extremen Kalkmangelkost

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Sawet Thasanabanchong
aus Samudhasongkram, Thailand

1963

RIJKS-UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Dekan: Prof. Dr. Dr. E. FRÖHLICH
Referent: Prof. Dr. A. KRÖNCKE
Korreferent: Prof. Dr. Dr. E. FRÖHLICH

Fotodruck PRÄZIS · Tübingen

INHALTSÜBERSICHT

		Seite
I.	Einleitung und Problemstellung	1
II.	Material und Methoden	2
	1. Tiermaterial und Tierhaltung	2
	2. Experimentelle Bearbeitung	7
	a) Schleifen der Proben	7
	b) Härtemessungen	7
	c) Statistik und Auswertung	8
III.	Ergebnisse	9
	a) Gesamtübersicht aller Mittelwerte	9
	b) Aufteilung nach Kostformen	12
IV.	Diskussion der Ergebnisse	19
V.	Zusammenfassung	22
VI.	Schrifttum	23

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547607_0024

I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Der Kalzium- und Phosphorstoffwechsel nimmt bei nahezu allen Organismen eine wichtige Stellung mit vielfältigen Wirkungsbeziehungen ein. Dabei stellt die Mineralisation von Hartgeweben wie Knochen und Zähnen nur ein Teilproblem dar. Andeutungsweise sei hier nur an die Rolle des Kalziums bei der Steuerung der Erregbarkeit nervöser Elemente oder an seine Funktion bei der Blutgerinnung erinnert (LOEW [19]). Recht weitgehend, wenn auch heute noch nicht in allen Einzelheiten bekannt, sind auch die den Kalziumphosphorstoffwechsel regulierenden Faktoren (Parathormon, Vitamin D) sowie die pathologischen Erscheinungen bei Störungen dieses Systems (WOLF [30] u. a.).

Daß sich solche Störungen des Kalzium-Phosphorstoffwechsels unterschiedlichster Genese naturgemäß auch an den Zähnen während ihrer Entwicklungsperiode mit Mineralisationsstörungen und bleibenden Schäden (Hypoplasien) manifestieren, ist gleichermaßen gut bekannt und Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen (SPRETER von KREUDENSTEIN [23], GAUNT und IRVING [9, 10, 11], HAASE, KRÖNCKE und UEBEL [12] u. a.). Während auch der in ständigem Umbau befindliche Knochen unter den Bedingungen eines Kalkmangels sehr bald im Sinne rachitischer oder osteomalazischer Krankheitserscheinungen Mineralien einbüßt (Halisterese), konnte Gleichartiges bei fertig ausgebildeten menschlichen Zähnen bisher nicht beobachtet werden. Zähne von Menschen, die an schwerer Osteomalzie erkrankten und an dieser Krankheit schließlich verstarben, ließen keine eindeutigen Veränderungen im Sinne eines nach abgeschlossener Mineralisation erfolgten Mineralverlustes erkennen (WANNENMACHER [7, 27]). Daraus resultiert heute die Ansicht, daß die bei der Mineralisation der Zahnhartsubstanzen gebildeten Apatite nicht mehr gelöst und wie etwa beim Knochen im Sinne von Kalziumreserven dem Organismus wieder zugeführt werden können.

Vom theoretischen Standpunkt aus erscheint diese These allerdings trotz der wesentlichen genetischen und morphologischen Unterschiede zwischen Knochen und Dentin keineswegs selbstverständlich und gesichert. Besonders biochemische Untersuchungen (DULCE [6]) haben erwiesen, daß Bildung und Resorption von Apatiten (beim Knochen) im extrazellulären Raum ablaufen. Da das Dentin bekanntlich von den Fortsätzen der Odontoblastenzellen durchzogen wird (die in Pulpanähe etwa 60 % des Volumens einnehmen!), müßte wohl erst bewiesen werden, daß hier eine Auflösung von Apatitkristallen wie in der Umgebung von Osteoklasten nicht möglich ist.

Kürzlich hat SEEGER [22] Untersuchungen an Ratten durchgeführt, die extremen Kalkmangelbedingungen ausgesetzt waren. Im Vergleich zu einer normal ernährten Tiergruppe konnte er zeigen, daß die Härte der fertig ausgebildeten Molaren der Mangelkosttiere mit signifikanten Unterschieden geringer war als die der Vergleichsgruppe. Wenn auch diese Versuche eindringlich auf die Möglichkeit eines sekundären Entzuges von Mineralien aus den Zähnen hinweisen, so läßt die dort gewählte Versuchsanordnung doch Fragen offen, die einer endgültigen Beantwortung entgegenstehen.

Aus diesen Gründen befaßt sich die vorliegende Abhandlung erneut mit diesem Problem. Der von SEEGER durchgeführte Versuch wurde mit Tieren des gleichen Inzuchtstammes und unter gleichen Ernährungsbedingungen wiederholt. Abweichend schien es nun aber notwendig zu sein, der Mangelkostgruppe zwei Kontrollgruppen entgegenzustellen, von denen die eine bei Versuchsbeginn und die andere zum Abschluß des dreimonatigen Ernährungsversuches getötet wurde. Zur Beurteilung der Mineralisation im Dentin der Molaren wurden wiederum Mikrohärteprüfungen angestellt. Dieses Meßverfahren hat sich auch bei anderen Fragestellungen, die die Mineralisation von Zahnhartsubstanzen betreffen, gut bewä bewährt (KIMMERLE [13], BALLE [1], STOLL [24] u.a.). Es verdient den Vorzug, solange präparatorische Schwierigkeiten einer chemischen Analyse verschiedener Mineralien allein im Dentin einzelner Rattenmolaren entgegenstehen.

II. MATERIAL UND METHODEN

1. TIERMATERIAL UND TIERHALTUNG

Als Versuchstiere wurden 33 bei Versuchsbeginn etwa 3 1/2 bis 4 Monate alte, männliche Wistar-Ratten verwendet (Inzuchtstamm des wissenschaftlichen Instituts Dr. Madaus, Köln). Die Aufzuchtkost bestand aus Semmelmilchbrei und einem Standardkörnerfutter (Weizen, Gerste, Hafer, Mais zu gleichen Teilen), dem wechselweise Garnelen, Sonnenblumensamen, Latzfutterkuchen, Möhren und grüner Salat beigefügt wurde. Diese Aufzuchtkost und Leitungswasser als Trinkflüssigkeit wurden ad libitum gegeben.

Die Tiere der Normalkostgruppe wurden einzeln in täglich gereinigten Glasbehältern mit Torfmull gehalten. Bei der Mangelkostgruppe wurde an Stelle von Torfmull autoklavisierter Zellstoff verwendet.

Aus einem größeren zu gleicher Zeit aufgezogenen Tiermaterial wurden 33 männliche Ratten entnommen und durch Los auf drei Gruppen aufgeteilt. Bei der Verteilung wurde auch darauf geachtet, daß das durchschnittliche Tiergewicht pro Gruppe 180 Gramm betrug (s. Tab. I). Zwei dieser Gruppen wurden als Kontrollgruppen verwendet, davon wurde eine zu Versuchsbeginn getötet und die andere während des gesamten Versuches (12 Wochen) mit der oben beschriebenen Aufzuchtkost weiter ernährt. Diese Tiere wurden bei Versuchsende getötet.

Die dritte Tiergruppe erhielt eine Kalkmangeldiät. Diese bestand aus 71,4 Teilen Reisstärke, 24 Teilen Kasein (Casein pur. alb. Merck) und 4,6 Teilen Salzgemisch. Dazu kam pro Tier und Tag 1 g autoklavisierter, verriebener Rindertalg.

Das Salzgemisch war zusammengesetzt aus:

Na Cl	68,8 g
Na H_2 PO_4 x 2 H_2O	138,8 g
K_2 HPO_4	381,6 g
Fe_2 $(C_6H_5O_7)_2$ x $6H_2O$	47,2 g
$MgSO_4$ (wasserfrei)	106,4 g

Diese Mangelkostgruppe wurde genauso wie die zweite Kontrollgruppe zum Versuchsende getötet. Einzelne Tiere gingen bereits kurz vorher unter den extremen Kalkmangelbedingungen ein (s. Tab. I).

Die Tiere wurden zu den in der Tabelle I ersichtlichen Zeitpunkten getötet und dekapitiert. Die Köpfe wurden vom Fell befreit und in 96 %igem vergälltem Alkohol fixiert. Auch hier wurde wieder das sonst zur Fixierung übliche Formalin wegen seiner entkalkenden Eigenschaften vermieden (vgl. SEEGER[22]).

Für die vorliegende Untersuchung wurden lediglich die Oberkiefer verwertet. Die Unterkiefer wurden einer gesonderten histologischen Untersuchung zugeführt. Messung und Auswertung erfolgte zunächst ohne Kenntnis der jeweiligen Versuchsgruppe.

Tab. I Tiermaterial: ♂ Rt. Wistar-Inzucht, Alter 3 1/2 - 4 Monate.
Vers.-Zeit: 19.1. bis 13.4.1962 (12 Wochen).

Tier-Nr.	Tiergewicht in g bei Vers. Beginn	
	A. Gruppe 290 (Tiere getötet bei Vers. Beginn)	
2652	180	
2653	170	
2654	163	
2655	250	
2656	180	
2657	136	
2658	160	
2659	165	Kariöse Defekte, spez. untere rechte Molaren
2660	204	
2661	198	
2662	175	

Durchschnittsgewicht der Gruppe A = 180 g.

Tier-Nr.	Tiergewicht in g.		Dauer des Versuches in Wochen	Bemerkungen
	bei Vers. Beginn	bei Vers. Ende		
B. Gruppe 291 (Kalkmangelkost)				
2663	180	156	12	o.B.
2664	170	80	11	o.B.
2665	162	80	9 1/2	1)
2666	227	134	12	2)
2667	183	156	12	3)
2668	143	84	8	4)
2669	168	94	6	o.B.
2670	166	72	8 1/2	o.B.
2671	214	134	12	o.B.
2672	195	106	10	5)
2673	176	85	9 1/2	o.B.

Durchschnittsgewicht
der Gruppe B = 180 g.

Bemerkungen:

1) Tier-Nr. 2665) Klinisch: o.B.
Schnittpräparat: Linke OK-Seite o.B., rechte OK-Seite Knochenabbau bukkal von der Mitte des M_1 bis zur mesialen Wurzel des M_3 Bifurkation des M_2 freigelegt.
2) (Tier-Nr. 2666) Klinisch: M_3 im rechten Unterkiefer gelockert. Schnittpräparat: Linke OK-Seite bukkal und palatinal Knochenabbau, Bifurkation freigelegt, Knochenporosität in der Gegend des M_2. Rechte OK-Seite palatinal Knochenabbau am M_2, distal Knochenporosität.
3) (Tier-Nr. 2667) Klinisch: o.B.
Schnittpräparat: Linke OK-Seite bukkal Knochenabbau, vermehrter Knochenabbau an der mesialen Wurzel des M_2 (fast zur Wurzelspitze). Rechte OK-Seite o.B..
4) (Tier-Nr. 2668) Klinisch: o.B.
Schnittpräparat: Linke OK-Seite Knochenabbau nur in der Gegend des M_3. Rechte OK-Seite bukkal Knochenabbau, Bifurkation freigelegt, vermehrter Knochenabbau an der mesialen Wurzel des M_3 (bis zur Wurzelspitze).
5) (Tier-Nr. 2672) Klinisch: M_3 im rechten Unter- und Oberkiefer gelockert.

Schnittpräparat: Linke OK-Seite bukkal und palatinal Knochenabbau, Knochenporosität in der Gegend des M_2 und M_3. Rechte OK-Seite bukkal und palatinal Knochenabbau, Bifurkation freigelegt.

Tier-Nr.	Tiergewicht in g.		Dauer des Versuches in Wochen	Bemerkungen
	bei Vers. Beginn	bei Vers. Ende		
C. Gruppe 292 (Norm. Ern.)				
2674	180	278	12	1)
2675	171	258	12	o.B.
2676	161	257	12	2)
2677	226	320	12	o.B.
2678	184	300	12	3)
2679	155	240	12	4)
2680	167	270	12	o.B.
2681	167	265	12	5)
2682	220	190	12	6)
2683	176	287	12	o.B.
2684	175	240	12	o.B.

Durchschnittsgewicht
der Gruppe C = 180 g.

Bemerkungen:

1) (Tier-Nr. 2674) Klinisch: o.B.
Schnittpräparat: Linke und rechte OK-Seite Knochenabbau zwischen M_1 und M_2, M_2 und M_3.

2) (Tier-Nr. 2676) Klinisch: o.B.
Schnittpräparat: Linke OK-Seite o.B., rechte OK-Seite palatinal Knochenabbau zwischen M_1 und M_2 fast bis zur Wurzelspitze, zwischen M_2 und M_3 nur wenig.

3) (Tier-Nr. 2678) Klinisch: o.B.
Schnittpräparat: Linke OK-Seite Knochenporosität im Bereich der distalen Wurzel des M_1 bis M_3.
Rechte OK-Seite Knochenabbau an der mesialen Wurzel des M_1 bis M_3. Der Knochenabbau in der Gegend des M_3 reicht bis zur Wurzelspitze.

Bemerkungen: 4) (Tier-Nr. 2679) Klinisch: o.B.
Schnittpräparat: Linke OK-Seite: Knochenporosität von der mesialen Wurzel des M_1 bis zur distalen Wurzel des M_2 (kleiner als Präparat 2681), rechte OK-Seite palatinal Knochenabbau von M_1 bis M_2 (keine Porosität).

5) (Tier-Nr. 2681) Klinisch: Abszeßbildung am Unterkiefer Links. Schnittpräparat: Linke OK-Seite Knochenporosität von M_1 bis zur distalen Wurzel des M_2 (bukkal und palatinal Bifurkation nicht freigelegt).
Rechte OK-Seite Knochenporosität von M_1 bis M_3. (Bukkal und palatinal Knochenabbau, Bifurkation freigelegt.)

6) (Tier-Nr. 2682) Klinisch: Total vereiterter Thorax.
Schnittpräparat: O.B.

2. EXPERIMENTELLE BEARBEITUNG

a) Schleifen der Proben

Für die Untersuchungen standen die linke und rechte Molaren-Seite der Oberkiefer zur Verfügung. Die Präparate wurden in Stents fixiert und so in der Zahnschliffmaschine eingestellt, daß die Zahnreihen sagittal geschliffen werden konnten. Wir benutzen hierzu das Zahnschliffgerät der Fa. Köhler, Mainz. Aus jeder Zahnreihe wurden 4-5 Schliffe in der Stärke von 200 µ gewonnen. Der zentral gelegene Schliff durch alle drei Molaren wurde für die Härtemessungen verwendet.

b) Härtemessungen

Die vorliegenden Untersuchungen wurden mit dem Kleinhärteprüfer Durimet der Fa. Ernst Leitz, Wetzlar vorgenommen, der zum Messen von Zahnschliffen geeignet ist (KRELL, F.[15] (1953), SEEGER, U.[22] (1962)).

Dieses Gerät arbeitet nach folgendem Prinzip:

Ein Prüfdiamant mit Pyramidenform senkt sich mit einer definierten Kraft in einer bestimmten Zeit auf das zu prüfende Objekt und hinterläßt dort einen Eindruck, der in der Aufsicht quadratisch erscheint. Da die Maße des Diamanten bekannt sind, gibt die Länge der Eindrucksdiagonalen ein Maß für die Tiefe des Eindrucks und damit für die Härte des Objekts. Diese wird in Vickerseinheiten (kg/mm^2) angegeben und kann nach folgender Formel errechnet werden:

$$HV = \frac{1854 \times P}{d^2}$$

Bezeichnungen:

HV	=	Vickershärte in kg/mm^2
P	=	Prüfkraft in Gramm
d	=	Länge der Eindrucksdiagonalen (in μ)

Es werden jeweils beide Diagonalen ausgemessen und dann der Mittelwert gebildet. Die Vickershärtewerte können einer Tabelle direkt entnommen werden.

Bei den vorliegenden Untersuchungen wurde mit einer Prüflast von 100 g gearbeitet, da hierbei die Größe der Eindrücke im Verhältnis zur Größe der Präparate am günstigsten war. Der Kleinhärteprüfer "Durimet" muß ruhig und nach der Wasserwaage ausgerichtet aufgestellt sein. Die Schliffe müssen mit ihrer Prüffläche parallel zum Objekttisch liegen, damit der Diamant genau senkrecht eindringen kann. Um dies zu erreichen, befestigten wir an einer Plexiglasplatte (ca. 3 x 5 cm) drei genau gleichgroße Schraubenmuttern mit selbsthärtendem Kunststoff. Mit dieser Lehre preßten wir das zu untersuchende Präparat derart in eine thermoplastische Masse auf eine Glasplatte, daß die Schliffoberfläche der Rattenmolaren stets parallel zur Unterlageplatte ausgerichtet war (KIMMERLE, G.[13] (1962), SEEGER, U.[22] (1962)). Diese Platte ruhte mit einer Dreipunktauflage stets parallel auf dem Objekttisch des Meßmikroskops.

c) Statistik und Auswertung

Auf jeder längsgeschliffenen Krone wurden 20 Mikrohärtemessungen durchgeführt. Angegeben werden die arithmetischen Mittel der Vickershärten und ihre Standardabweichungen.
Diese werden nach folgender Formel berechnet (WEBER, E.[28] (1956)):

$$S\bar{x} = \pm\sqrt{\frac{\sum X_1^2 - \bar{X}\sum X_1}{N\,(N-1)}}$$

hierbei bedeutet:

N = Umfang der Stichprobe, Zahl der Einzelwerte
n = Freiheitsgrad (N-1)
X_1 = Einzelwert (X_1, X_2 .... u.s.w.)
$\bar{X}$ = arithmetischer Mittelwert

S = Streuung der Stichprobe
$S\bar{x}$ = Streuung des Mittelwerts (Standardabweichung des Mittelwerts)
Die Differenzen zwischen Gruppenergebnissen werden mit dem t-Test geprüft.

$$t = \frac{\bar{X}a - \bar{X}b}{\sqrt{\frac{(\sum X_1^2 - \bar{X}\sum X_1)\,a + (\sum X_1^2 - \bar{X}\sum X_1)\,b}{Na+Nb-2}}} \cdot \frac{Na \cdot Nb}{Na+Nb}$$

P = vereinbarte Irrtumswahrscheinlichkeit im allgemeinen 1 %, in der Medizin jedoch auch noch 5 % in Frage kommend, dann jedoch gleichbedeutend mit: "Signifikanz wahrscheinlich, Nachuntersuchung zweckmäßig".

Der nach dieser Formel errechnete t-Wert muß größer sein als der nach P und n aus der Tabelle herausgesuchte, wenn ein signifikanter Unterschied vorliegt.

Als Irrtumswahrscheinlichkeit werden hier zugrunde gelegt:

Gesicherte Differenz, wenn $P < 0,1$,
Schwach gesicherte Differenz, wenn $P < 1,0$,
Nicht gesicherte Differenz, wenn $P > 1,0$ ist.

III. ERGEBNISSE

a) Gesamtübersicht aller Mittelwerte

Die folgende Tabelle zeigt die Mittelwerte aus je 20 Bestimmungen auf den drei Molaren eines Präparates, den aus 60 Messungen errechneten und für das betreffende Präparat verbindlichen Mittelwert sowie dessen Standardabweichung ($S\bar{x}$), und schließlich die für das betreffende Präparat auf der linken und rechten Seite verbindlichen Mittelwerte. Die Angaben erfolgen in Vickerseinheiten(Kg/mm^2).

Tabelle II

Tier Nr.	Links M_1	M_2	M_3	$\bar{X}$	$S\bar{x}$	Rechts M_1	M_2	M_3	$\bar{X}$	$S\bar{x}$	$\bar{X}$ gesamt L + R
2652	65,4	61,4	59,2	62,0	1,30	70,2	68,8	65,1	68,0	0,94	65,1
2653	71,0	70,4	68,0	69,8	0,85	69,9	68,9	62,5	67,1	1,20	68,5
2654	69,8	70,0	69,8	69,8	0,96	69,6	68,4	67,9	68,6	1,24	69,3
2655	70,4	71,4	65,8	69,2	0,78	77,5	74,1	74,1	75,2	1,05	72,2
2656	75,1	63,5	64,9	67,8	1,45	61,2	74,5	68,4	68,0	1,80	67,9
2657	72,1	76,6	69,4	72,7	1,02	76,5	74,0	72,6	74,3	0,82	73,5
2658	71,8	67,2	63,6	67,5	0,84	70,6	68,0	62,7	67,1	0,90	67,3
2659	69,8	69,9	63,9	67,5	0,95	68,5	67,2	66,3	67,3	0,89	67,6
2660	71,0	72,8	71,1	71,6	0,99	69,0	65,6	66,7	67,1	1,35	69,4
2661	70,2	69,3	63,5	67,6	0,78	68,9	66,9	67,5	67,7	1,19	67,7
2662	58,5	64,4	54,3	59,0	1,24	62,8	66,4	59,2	62,8	1,005	60,9
2663	58,3	58,9	61,7	59,6	0,80	61,3	57,4	58,3	59,0	1,10	59,3
2664	60,2	58,8	59,9	59,6	0,74	64,4	60,5	65,6	63,5	0,96	61,6
2665	65,8	63,4	59,6	62,9	1,0	64,0	60,3	56,5	60,2	0,93	61,6
2666	64,8	63,5	64,1	64,1	1,03	66,2	63,0	63,6	64,2	0,95	64,2
2667	66,6	66,1	64,6	65,7	1,45	68,1	68,1	63,9	66,7	0,97	66,2
2668	67,9	69,0	63,4	66,7	0,89	63,4	58,4	50,9	57,5	1,19	62,2
2669	65,8	62,9	62,7	63,4	1,00	66,2	66,5	62,3	65,0	1,10	64,2
2670	64,3	70,0	68,4	67,5	0,97	64,8	67,7	64,8	65,7	1,05	66,7

	Links					Rechts					
Tier Nr.	M_1	M_2	M_3	$\bar{X}$	$S\bar{x}$	M_1	M_2	M_3	$\bar{X}$	$S\bar{x}$	$\bar{X}$ gesamt L + R
2671	64,7	65,3	61,4	63,8	0,78	57,8	59,2	61,0	59,3	0,98	61,6
2672	64,3	59,7	57,2	60,4	1,09	64,7	59,3	61,7	61,9	0,92	61,2
2673	58,9	59,4	62,4	60,2	1,05	63,5	55,5	59,5	59,5	1,19	59,9
2674	61,9	56,8	53,9	57,5	1,23	60,9	56,4	50,7	56,0	1,21	56,8
2675	55,2	50,7	46,5	50,8	0,86	50,9	54,0	47,5	50,8	0,83	50,8
2676	62,7	58,6	53,3	58,2	1,08	50,2	58,8	58,3	55,7	1,20	57,0
2677	55,8	53,9	50,0	53,2	1,01	60,4	56,4	56,1	57,6	0,98	55,4
2678	56,9	57,7	54,2	56,2	0,84	60,5	57,0	51,7	56,4	1,00	56,3
2679	66,5	60,7	61,0	62,7	0,66	57,6	56,8	54,8	56,4	0,73	59,6
2680	58,2	57,4	57,0	57,5	0,81	58,8	56,5	56,9	57,4	0,94	57,5
2681	52,4	56,2	56,7	55,1	1,02	53,5	55,1	56,3	54,9	0,85	55,0
2682	59,0	58,9	53,4	57,1	0,92	58,0	54,0	59,3	57,1	0,93	57,1
2683	62,2	62,2	58,3	60,8	1,01	58,3	63,5	60,2	60,6	1,00	60,8
2684	59,5	62,1	59,2	60,2	2,12	57,9	64,5	52,4	58,2	1,33	59,3
				$\bar{X}$=62,7					$\bar{X}$=62,2		

Aus dieser Tabelle geht hervor, daß die mittleren Härten der einzelnen Molaren eines Tieres Schwankungen unterliegen. Der M_3 scheint weniger hart als M_1 und M_2 zu sein. Die Gesamtdurchschnittswerte zwischen Links und Rechts sind unterschiedlich, nur einzelne Präparate zeigen beiderseits gleiche Gesamtdurchschnittswerte.

b) Aufteilung nach Kostform

Tabelle III

Tiergruppe I (Normalkost – getötet bei Vers. Beginn)

	Links					Rechts				
Tier Nr.	M_1	M_2	M_3	$\bar{X}$	$S\bar{x}$	M_1	M_2	M_3	$\bar{x}$	$S\bar{x}$
2652	65,4	61,4	59,2	62,0	1,3	70,2	68,8	65,1	68,0	0,94
2653	71,0	70,4	68,0	69,8	0,85	69,9	68,9	62,5	67,1	1,2
2654	69,8	70,0	69,8	69,8	0,96	69,6	68,4	67,9	68,6	1,24
2655	70,4	71,4	65,8	69,2	0,78	77,5	74,1	74,1	75,2	1,05
2656	75,1	63,5	64,9	67,8	1,45	61,2	74,5	68,4	68,0	1,8
2657	72,1	76,6	69,4	72,7	1,02	76,5	74,0	72,6	74,3	0,82
2658	71,1	67,2	63,6	67,5	0,84	70,6	68,0	62,7	67,1	0,9
2659	69,8	69,9	63,9	67,5	0,95	68,5	67,2	66,3	67,3	0,89
2660	71,0	72,8	71,1	71,6	0,99	69,0	65,6	66,7	67,1	1,35
2661	70,2	69,3	63,5	67,6	0,78	68,9	66,9	67,5	67,7	1,19
2662	58,5	64,4	54,3	59,0	1,24	62,8	66,4	59,2	62,8	1,005

$\bar{x}$ = 68,09
$S\bar{x}$ = 0,2

$\bar{x}$ = 68,53
$S\bar{x}$ = 0,36

$\bar{x}$ L + R = 68,32
$S\bar{x}$ = 0,2

Tabelle IV

Tiergruppe II (Mangelkostgruppe "Diät 12")

	Links					Rechts				
Tier Nr.	M_1	M_2	M_3	$\bar{x}$	$S\bar{x}$	M_1	M_2	M_3	$\bar{x}$	$S\bar{x}$
2663	58,3	58,9	61,7	59,6	0,8	61,3	57,4	58,3	59,0	1,1
2664	60,2	58,8	59,9	59,6	0,74	64,4	60,5	65,6	63,5	0,96
2665	65,8	63,4	59,6	62,9	1,0	64,0	60,3	56,5	60,2	0,93
2666	64,8	63,5	64,1	64,1	1,03	66,2	63,0	63,6	64,2	0,95
2667	66,6	66,1	64,6	65,7	1,45	68,1	68,1	63,9	66,7	0,97
2668	67,9	69,0	63,4	66,7	0,89	63,4	58,4	50,9	57,5	1,19
2669	65,8	61,9	62,7	63,4	1,0	66,2	66,5	62,3	65,0	1,1
2670	64,3	70,0	68,4	67,5	0,97	64,8	67,7	64,8	65,7	1,05
2671	64,7	65,3	61,4	63,8	0,78	57,8	59,2	61,0	59,3	0,98
2672	64,3	59,7	57,2	60,4	1,09	64,7	59,3	61,7	61,9	0,92
2673	58,9	59,4	62,4	60,2	1,05	63,5	55,5	59,5	59,5	1,19

$\bar{x}$ = 63,0
$S\bar{x}$ = 0,32

$\bar{x}$ = 62,0
$S\bar{x}$ = 0,32

$\bar{x}$ L + R = 62,5
$S\bar{x}$ = 0,227

Tabelle V

Tiergruppe III (Norm. Ern. bis Versuchsende)

	Links					Rechts				
Tier Nr.	M_1	M_2	M_3	$\bar{x}$	$S\bar{x}$	M_1	M_2	M_3	$\bar{x}$	$S\bar{x}$
2674	61,9	56,8	53,9	57,5	1,23	60,9	56,4	50,7	56,0	1,21
2675	55,2	50,7	46,5	50,8	0,86	50,9	54,0	47,5	50,8	0,83
2676	62,7	58,6	53,3	58,2	1,08	50,2	58,8	58,3	55,7	1,20
2677	55,8	53,9	50,0	53,2	1,01	60,4	56,4	56,1	57,6	0,98
2678	56,9	57,7	54,2	56,2	0,84	60,5	57,0	51,7	56,4	1,0
2679	66,5	60,7	61,0	62,7	0,66	57,6	56,8	54,8	56,4	0,73
2680	58,2	57,4	57,0	57,5	0,81	58,8	56,5	56,9	57,4	0,94
2681	52,4	56,2	56,7	55,1	1,02	53,5	55,1	56,3	54,9	0,85
2682	59,0	58,9	53,4	57,1	0,92	58,0	54,0	59,3	57,1	0,93
2683	62,2	62,2	58,3	60,8	1,01	58,3	63,5	60,2	60,6	1,0
2684	59,5	62,1	59,2	60,2	2,12	57,9	64,5	52,4	58,2	1,33

$\bar{x}$ = 57,2 $S\bar{x}$ = 0,35

$\bar{x}$ = 56,4 $S\bar{x}$ = 0,96

$\bar{x}$ L + R = 56,8

$S\bar{x}$ = 0,232

Tabelle VI Vergleich zwischen den Tiergruppen I und II

Tiergruppe I		Tiergruppe II	
Tier-Nr.	$\bar{X}$	Tier-Nr.	$\bar{X}$
2652	65,1	2663	59,3
2653	68,5	2664	61,6
2654	69,3	2665	61,6
2655	72,2	2666	64,2
2656	67,9	2667	66,2
2657	73,5	2668	62,2
2658	67,3	2669	64,2
2659	67,6	2670	66,7
2660	69,4	2671	61,6
2661	67,7	2672	61,2
2662	60,9	2673	59,9
$\bar{X}$ =	68,32	$\bar{X}$ =	62,5
$S\bar{x}$ =	0,2	$S\bar{x}$ =	0,227

Für die Differenz der Mittelwerte zwischen Gruppen I und II ist $t = 18,4$. Damit ist $P < 0,1$. Die Gruppen unterscheiden sich also mit 99,9% Wahrscheinlichkeit signifikant voneinander.

Tabelle VII Vergleich zwischen den Tiergruppen II und III

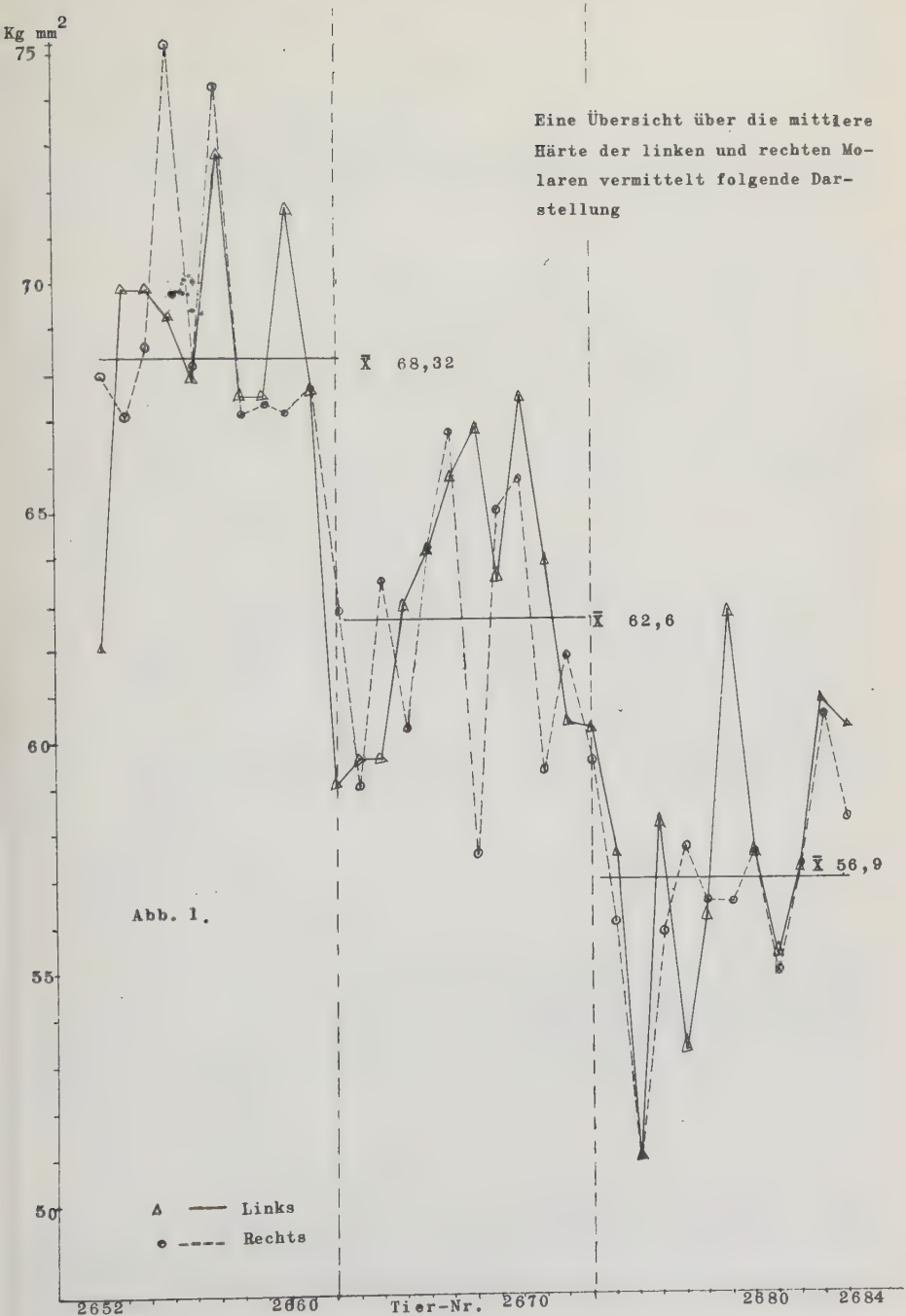
Tiergruppe II		Tiergruppe III	
Tier-Nr.	$\bar{X}$	Tier-Nr.	$\bar{X}$
2663	59,3	2674	56,8
2664	61,6	2675	50,8
2665	61,6	2676	57,0
2666	64,2	2677	55,4
2667	66,2	2678	56,3
2668	62,2	2679	59,6
2669	64,2	2680	57,5
2670	66,7	2681	55,0
2671	61,6	2682	57,1
2672	61,2	2683	60,8
2673	59,9	2684	59,3
$\bar{X}$ =	62,5	$\bar{X}$ =	56,8
$S\bar{x}$ =	0,227	$S\bar{x}$ =	0,232

Für die Differenz der Mittelwerte zwischen Gruppen II und III ist $t = 17,47$. Damit ist $P < 0,1$. Die Gruppen unterscheiden sich also mit 99,9% Wahrscheinlichkeit signifikant voneinander.

Tabelle VIII Vergleich zwischen den Tiergruppen I und III

Tiergruppe I Tier Nr.	$\bar{X}$	Tiergruppe III Tier-Nr.	$\bar{X}$
2652	65,1	2674	56,8
2653	68,5	2675	50,8
2654	69,3	2676	57,0
2655	72,2	2677	55,4
2656	67,9	2678	56,3
2657	73,5	2679	59,6
2658	67,3	2680	57,5
2659	67,6	2681	55,0
2660	69,4	2682	57,1
2661	67,7	2683	60,8
2662	60,9	2684	59,3
$\bar{X}$ =	68,32	$\bar{X}$ =	56,8
$S\bar{x}$ =	0,2	$S\bar{x}$ =	0,232

Für die Differenz der Mittelwerte zwischen Gruppen I und III ist $t = 36,3$. Damit ist $P < 0,1$. Die Gruppen unterscheiden sich also mit 99,9% Wahrscheinlichkeit signifikant voneinander.



Eine Übersicht über die mittlere Härte der linken und rechten Molaren vermittelt folgende Darstellung

Abb. 1.

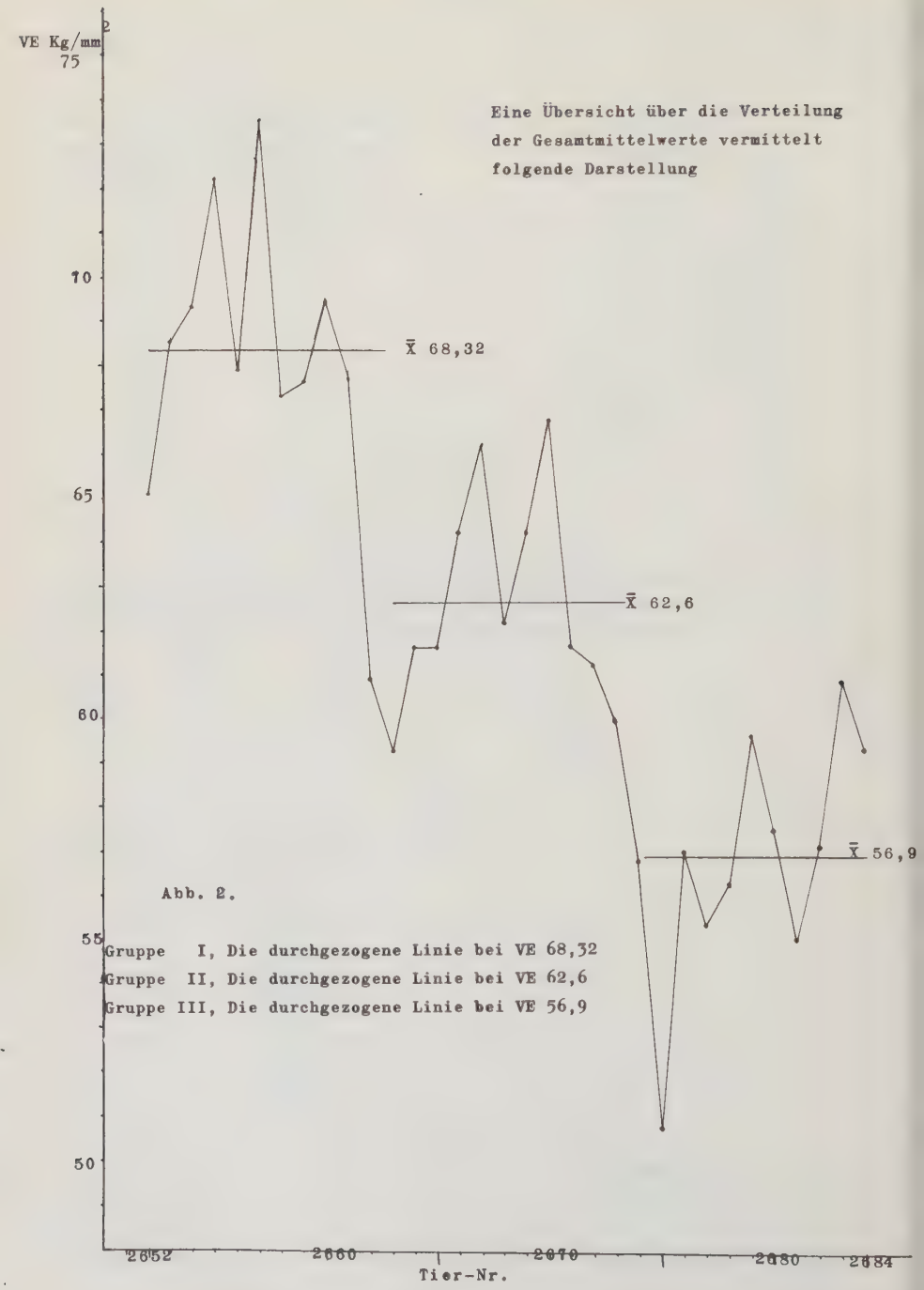


Abb. 2.

Gruppe I, Die durchgezogene Linie bei VE 68,32
Gruppe II, Die durchgezogene Linie bei VE 62,6
Gruppe III, Die durchgezogene Linie bei VE 56,9

IV. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Bevor die hier vorliegenden Ergebnisse hinsichtlich der eigentlichen Problemstellung gedeutet und besprochen werden, können einige allgemeinere Gesichtspunkte hervorgehoben werden.

a) Durchschnittliche Härte des Dentins der untersuchten Rattenmolaren

Wie aus den Tabellen und graphischen Darstellungen hervorgeht, wurden bei den einzelnen Tieren zum Teil recht stark voneinander abweichende Härtemittelwerte gemessen und errechnet. Sie reichen von 50,8 VH (Tier Nr. 2675) bis 73,5 VH (Tier Nr. 2657). Dieser Bereich wie auch das arithmetische Mittel (62,5 VH liegt auffällig höher als die von SEEGER gemessenen Werte (54,4 VH). Diese Abweichung wirkt sich auch aus, wenn man nur die Ergebnisse der Versuchsgruppen II und III zum Vergleich heranzieht, weil diese den von SEEGER gewählten Versuchsbedingungen entsprechen.

Die Ursachen für die jetzt gemessenen höheren Härtewerte sind nicht ohne weiteres erklärbar. Da das Tiermaterial von dem gleichen Inzuchtstamm herrührt, und da sich die experimentellen Bedingungen soweit wie möglich gleichen, bleiben lediglich die Generation und das Versuchsjahr bzw. die Jahreszeit als offensichtlich unterschiedliche Faktoren zwischen beiden Versuchen. Ihre Wirksamkeit läßt sich im vorliegenden Fall nicht ausschließen und bietet eine Erklärungsmöglichkeit, die ggf. noch näher zu beweisen wäre. Ähnliche Beobachtungen sind uns im Zusammenhang mit Härtebestimmungen bisher nicht bekannt geworden.

Schließlich könnte auch an individuelle Fehler bei der mikroskopischen Ausmessung der Eindrucksdiagonalen gedacht werden, da die verglichenen Meßreihen von zwei verschiedenen Untersuchern aufgestellt wurden. Da Meßfehler durch die hohe Anzahl von Einzelmessungen weitgehend ausgeschaltet werden, bietet dieser Erklärungsversuch nur wenig Wahrscheinlichkeit. Es muß deshalb zunächst angenommen werden, daß sich die im Versuch von SEEGER und die hier untersuchten Tiere trotz aller Bemühungen doch in solchen Umständen unterschieden, die die Härte des Dentins beeinflussen.

b) Vergleich der im linken und im rechten Oberkiefer gemessenen Härtewerte

Auch beim Vergleich der auf der linken Oberkieferzahnreihe gemessenen Härtewerte zu den auf der rechten Seite gefundenen zeigen sich mitunter recht erhebliche Abweichungen beim gleichen Tier. Nur in einem Fall (Tier

Nr. 2675) gleichen sich die Ergebnisse beider Seiten vollständig (vgl. Abb. 1 und Tab. I - III). Diese Unterschiede sind u.E. nur durch unterschiedliche Lage der Schliffebenen zu erklären, da die Härte des mineralisierten Dentins außer durch den Mineralisationsgrad auch durch die an der Schliffoberfläche freigelegte Struktur bestimmt wird. Mit anderen Worten wird die mit dem Kleinhärteprüfer meßbare Härte nicht unerheblich davon beeinflußt, ob die Dentinkanälchen parallel zur Schliffoberfläche, senkrecht oder schräg dazu verlaufen. Vergegenwärtigt man sich die topographischen Verhältnisse der Dentinstrukturen beim Rattenmolaren, so wird es trotz aller Bemühungen ein Glücksfall bleiben, wenn einer oder alle drei Molarenkronen einer Zahnreihe genau im Zentrum und sagittal geschliffen wurden. Seitliche Abweichungen um 1/10 mm müssen bei der Kleinheit der Rattenmolaren bereits erhebliche Abweichungen der Richtung der in die Schliffoberfläche einmündenden Dentinkanälchen ergeben.

Insgesamt gesehen dürfte aber dieser Fehler nicht entscheidend sein, weil bei der großen Zahl der Einzelmessungen und bei der Mittelwertbildung der jeweils 10 in eine Gruppe zusammengefaßten Tiere schließlich doch repräsentative Mittelwerte zu erwarten sind. Diese Beobachtungen und Erwägungen zeigen aber eindringlich, wie wichtig es ist, derartige Versuche mit ausreichenden Anzahlen von Versuchstieren und Messungen durchzuführen.

c) Die Wirkung der extremen Kalkmangelkost auf die Härte der Rattenmolaren

Vergleicht man zunächst die Gruppen I (normal ernährte Tiere bei Versuchsbeginn getötet, $\bar{x}$ = 68,3 HV) und die Gruppe II (Mangelkostgruppe, $\bar{x}$ = 62,6 HV) miteinander, so stellt sich die mittlere Härte des Molarendentins wie bei den Versuchen von SEEGER erheblich und mit signifikantem Unterschied ($t = 18,4$) geringer dar. Insofern darf man feststellen, daß der von SEEGER durchgeführte Versuch reproduzierbar war.

Erstaunlicherweise liegt aber die mittlere Härte der für die Gruppe III (normale Aufzuchtkost bis zum Versuchsende, $\bar{x}$ = 56,9 HV) noch erheblich unter den beiden vorherigen Gruppendurchschnitten. Auch diese Differenzen sind statistisch signifikant (vgl. Tab. VII und VIII). Das bedeutet aber, daß die Härte im Dentin der Rattenmolaren schon unter normalen Aufzuchtbedingungen zwischen dem 3. und 6. Lebensmonat absinkt. Dieses Phänomen ist u.W. bisher nicht bekannt und bedürfte im übrigen einer nochmaligen Nachprüfung.

Bei der Suche nach den möglichen Ursachen für diese Erscheinungen müßte geprüft werden, inwieweit die mit dem Versuch einsetzenden veränderten Lebensgewohnheiten der Tiere von Bedeutung sein könnten. Während der Aufzucht befanden sich alle Ratten in Gemeinschaftskäfigen. Während des eigentlichen

Versuches wurden auch die Tiere der Kontrollgruppe III in Einzelgläser mit vergleichsweise beschränkter Bewegungsfreiheit und damit nicht unerheblich veränderten äußeren Bedingungen gehalten (vgl. Material und Methoden). Womöglich beeinflussen auch diese Faktoren das Versuchsergebnis. Unter diesen Umständen erscheint es jedenfalls nicht möglich, die Härtedifferenz zwischen den Gruppen I und II als Folge eines Entzuges von Mineralien aus der fertig ausgebildeten Molaren zu deuten. Vielmehr stellen uns die vorliegenden Untersuchungsergebnisse vor ein neues Problem, das durchaus wert wäre, durch weitere Untersuchungen geklärt zu werden.

V. ZUSAMMENFASSUNG

33 männliche Wistar-Ratten im Alter von etwa 3 Monaten wurden in 3 Gruppen unterteilt. Während eine Gruppe als Anfangskontrolle sofort getötet wurde, erhielten die beiden anderen für die Versuchszeit von 12 Wochen eine normale Aufzuchtkost bzw. eine extreme Kalkmangelkost. Die Mineralisation des Dentins der Molaren wurde durch Härtemessungen auf unentkalkten Schliffen geprüft. Dabei wurde folgendes beobachtet:

1. Die mittlere Härte des Dentins der Rattenmolaren war im Bereich von 50,8 VH bis 73,5 VH individuell unterschiedlich.

2. Diese Unterschiede sind teilweise auf die Versuchsbedingungen, im übrigen aber auf die an der jeweiligen Schliffoberfläche vorhandenen Struktureigenheiten zurückzuführen.

3. Im Prinzip ließ sich der von SEEGER erhobene Befund reproduzieren, wonach die Härte des Dentins unter den Bedingungen einer extremen Kalkmangelkost geringer werden. Diese Befunde können jedoch vorläufig nicht als Mineralverlust der fertig ausgebildeten Molaren gedeutet werden.

4. Auch die mit normaler Aufzuchtkost ernährte Versuchsgruppe III wies nach dem 12 Wochen dauernden Versuch wesentlich geringere mittlere Härtewerte als die zu Versuchsbeginn getötete Versuchsgruppe I auf. Die möglichen Ursachen werden diskutiert.

VI. SCHRIFTTUM

1. BALLE, D.: Mikrohärtemessungen im gesunden und kariösen Milchzahnschmelz. Med. Dissertation, Tübingen 1962.

2. BOROVSKY, E.V.: Portals of entry and distribution of calcium in hard dental tissues. ref.: Dent. Abstracts. 4, July 42 (1959).

3. COOLIDGE, E.D. and HINE, M.K.: Periodontology, Lea and Febiger, London, 1958, 3rd.Ed. S. 322.

4. CRAIG, R.G. and PEYTON, F.A.: The Microhardness of Enamel and Dentin. J. Dent. Res. 37, 661 (1958).

5. DOWNS, W.G.: The plasticity of the calcified tissues. J. Dent. Res. 12, 363-375 (1932).

6. DULCE, H.J.: Medizinische Mitteilungen, (Dr. Schering A.G., Berlin) 22, 64-71 (1961).

7. ERBACHER, O. und WANNENMACHER, E.: Zur Frage von Stoffwechselvorgängen in den Zahnhartgeweben. Dtsch. Zahn-Mund-Kieferhk. 8, 201 - 221 (1941).

8. FRIES, P.: Wichtige Betrachtungen über den Kalkstoffwechsel. Rev. Stomt. (FR) 43, H 9/10, 163 (1942). ref.: Zentralblatt für die gesamte Zahn-Mund-Kieferhk. 8, 311 (1943).

9. GAUNT, W.E. and IRVING, J.T.: Influence of calcium and phosphorus on tooth formation. J. Physiol. 95, 51-52 (1939).

10. GAUNT, W.E. and IRVING, J.T.: The influence of dietary calcium and phosphorus upon tooth formation. J. Physiol. 99, 18-29 (1940).

11. GAUNT, W.E., IRVING, J.T., and THOMSON, W.: A long term experiment with rats on human dietary. J. Hyg. 38, 91-107 (1939).

12. HAASE, H., KRÖNCKE, A., und UEBEL, H.: Tierexperimentelle Untersuchungen zur Prophylaxe von Verkalkungsstörungen der Zahnhartsubstanzen. Arzneim.-Forsch. 11, 362-363, 476-48 (1961).

13. KIMMERLE, G.: Über die Härte des Zahnschmelzes nach Kavitätenpräparation mit besonderer Berücksichtigung des Airotors. Med. Dissertation, Tübingen 1962.

14. KOHMAN, E.F.: Oxalic acid in foods and its behavior and fate in the diet. J. Nutr. 18, 233-246 (1939).

15. KRELL, F.: Härteprüfungen am Schmelz und am Dentin von Goldhamsterzähnen und menschlichen Zähnen. Med. Dissertation, Berlin 1953.

16. KRONFELD, R.: Histopathology of the teeth and their surrounding structures. Lea and Febiger, Philadelphia 1949, 3 rd. Ed. S. 350.

17. LANGLEY, L.L. and CHERASKIN, E.: The physiological foundation of dental practice. 2 nd. Ed. The C.V. Mosby Co. St. Louis, 1956. S. 473.

18. LEICESTER, H.M.: Biochemistry of teeth. The C.V. Mosby Co. St. Louis, 1949. S. 150-160.

19. LOEW, O.: Der Kalkbedarf von Mensch und Tier "zur chemischen Physiologie des Kalkes". München 1927, Verlag der Ärztlichen Rundschau, Otto Gmelin.

20. MILLER, S.C.: Textbook of Periodontia, 2 nd. Ed. The Blakiston Co. Philadelphia, Toronto 1948, S. 19-22.

21. SCHOUR, I.: Calcium metabolism and teeth. J. Amer. Med. Ass. 110, 870-877 (1938).

22. SEEGER, U.: Zur Frage des Mineralverlustes von Zahnhartsubstanzen bei Kalkmangelzuständen. Med. Dissertation, Tübingen 1962.

23. SPRETER von KREUDENSTEIN, T.: Über die Beeinflussung der Dentinverkalkung durch orale und parenterale Kalkzufuhr und A.T. 10. Dtsch. Zahn-Mund-Kieferhk. 4, 208-218 (1937), 5, 777-790 (1938).

24. STOLL, G.: Über die Härte des gesunden und kariösen Dentins menschlicher Zähne. Med. Dissertation, Tübingen, in Vorbereitung.

25. TEMPLIN, M. and STEENBOCK, H.: The effect of Vitamine D on the teeth of rats. J. Biol. Chem. 100, 217-224 (1933).

26. TOVERUD, G.: The influence of diet on teeth and bones. J. Biol. Chem. 58, 583-600 (1923-1924).

27. WANNENMACHER, E.: Fragen und Aufgaben der Kariesprophylaxe, Sammlung Meusser, Leipzig, 1937, H.29, S. 94.

28. WEBER, E.: Grundriss der biologischen Statistik. Verlag G. Fischer, Jena 1956.

29. WEIMANN, J.P., and SICHER, H.: Bone and Bones. 2 nd. Ed. The C.V. Mosby Co. St. Louis, 1955. S. 296-298.

30. WOLF, J.E. (DAVOS): Probleme des Kalkstoffwechsels, Schweiz, Mschr. Zahnhk. 50, 238 (1940).

Zum Schluß der Arbeit erlaube ich mir, Herrn Professor Dr. A. Kröncke für die Überlassung dieses interessanten Themas und seine Anleitung zu dieser Arbeit herzlich zu danken.

Lebenslauf

Ich, Sawet THASANABANCHONG wurde am 1. April 1931 in Samudhasongkram/Thailand als erster Sohn des Kaufmanns Pan Thasanabanchong und seiner Ehefrau Sangwien geb. Chanyasoonthorn geboren. Nach mehrjähriger Ausbildung in einer thailändischen Volks- und Oberschule in Thonburi bestand ich 1948 die Schlußprüfung (Abitur).

Kurze Zeit später begann ich an der Chulalongkorn Universität in Bangkok das Studium der Zahnmedizin. Nach zwei Jahren legte ich hier das Physikum ab. Für die klinischen Semester meines Studiums ließ ich mich an der University of Medical Sciences (School of Dentistry) einschreiben. 1955 bestand ich an dieser Universität die Schlußprüfung, die zur Erlangung des Grades eines 'Doctor of Dental Surgery' führte.

Noch im gleichen Jahr konnte ich meine erste Stelle als Assistenzarzt im Ananda Mahidol Krankenhaus in Loburi antreten. Seit 1958 bin ich als Zahnarzt in der kgl. Thai-Armee in Bangkok beschäftigt.

Seit dem 1. Juli 1961 erhalte ich ein Stipendiat des Deutschen Akademischen Austauschdienstes und arbeite als Doktorand am Zahnärztlichen Institut der Universität Tübingen.